

Влияние температуры синтеза на диэлектрическую проницаемость и электрокалорический эффект керамики титаната бария

А.С. Анохин^{1,2}, И.А. Старков¹, М.А. Мишнев¹, А.С. Старков^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», 197022

Санкт-Петербург, Россия

e-mail: sanman4242@gmail.com

²Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

В настоящей работе проведено экспериментальное и теоретическое исследование электрических и тепловых свойств керамики титаната бария. Образцы изготавливались методом высокотемпературного спекания. Синтез производился в 2 стадии: исходно измельчались и смешивались оксид титана и барий углекислый, далее производился длительный обжиг при температуре достаточной для активного протекания реакции между твёрдыми фазами компонентов (1200°C в течение 2-х часов), затем полученные порошки повторно измельчались и смешивались. Полученные шихты перемешивались с органическим пластификатором (лак на основе акриловой смолы), помещались в пресс-форму и спрессовывались при давлении 100 МПа. Внутренний диаметр пресс-форм составлял 12 мм. Полученные сырые заготовки повторно спекались при различных температурных режимах в течение 1 часа, после чего утонялись до толщины 500 мкм. На полированную поверхность изготовленных образцов наносились электроды, изготавливаемые методом вжигания проводящей серебро-палладиевой пасты. На всех стадиях синтеза скорость изменения температуры в печи не превышала 5 К/мин.

Изготовленные образцы были подвергнуты исследованию электрофизических свойств, а также исследованию в них электрокалорического эффекта (ЭКЭ). Измерение температурных, полевых и частотных зависимостей ЭКЭ осуществлялось методом прямых измерений адиабатического изменения температуры с помощью платиновых терморезистивных датчиков. Результаты измерения диэлектрической проницаемости и электрокалорического эффекта представлены на Рисунке 1. Наивысшей диэлектрической проницаемостью и наибольшим электрокалорическим эффектом обладает образец, синтезированный при 1350°C. Этот же образец обладает наибольшими диэлектрическими потерями. При изменении температуры синтеза с 1300 до 1350°C изменение температуры ΔT при ЭКЭ увеличивается в 4 раза – с 0.1 К до 0.4 К.

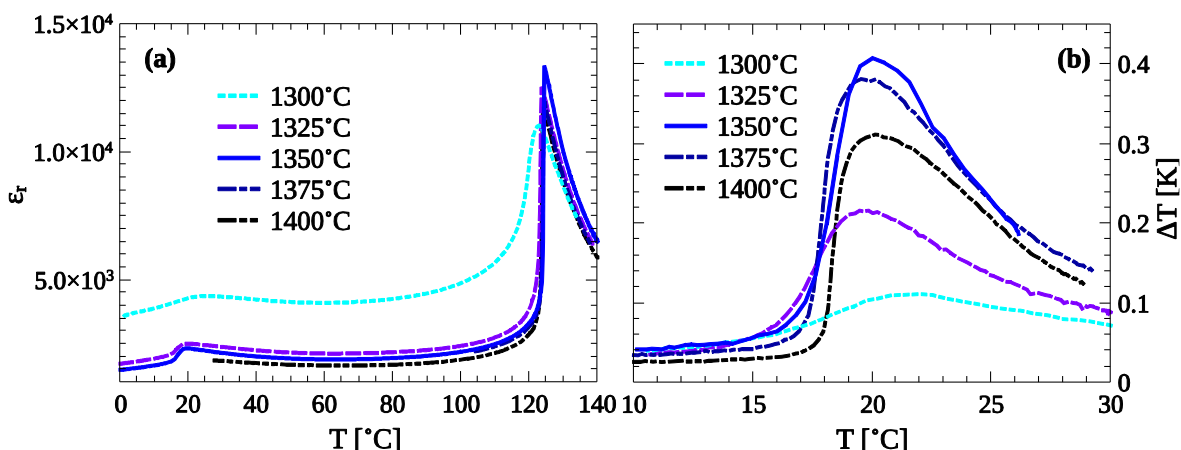


Рисунок 1. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости и изменения температуры образца при электрокалорическом эффекте для различных условий синтеза.

При теоретическом исследовании керамика представлялась набором шаров, моделирующих гранулы. Каждый шар покрыт диэлектрической и воздушной оболочкой и помещён в диэлектрическую матрицу (четырёхфазная среда). Данная модель является обобщением результатов, изложенных в [1] при рассмотрении свойств релаксорных

сегнетоэлектриков. Толщина и диэлектрическая проницаемость диэлектрического слоя в соответствии с экспериментальными данными [2] считалась постоянной. Толщина воздушного слоя определялась через относительную плотность керамики и зависела от размера гранулы. Упругие постоянные всех четырех сред предполагались не зависящими от температуры. Электрическое поле в шаре описывалось нелинейным уравнением Ландау-Гинзбурга, в котором учитывалось упругая деформация и электрострикционный эффект. Поляризация в шаре предполагалась однородной, что позволило решать задачи об определении упругого и электрического полей по отдельности. При вычислении упругого поля свойства сред считались изотропными. Распределение шаров по размерам предполагалось нормальным трёхмерным, что соответствует экспериментальному распределению гранул по размерам [3]. Матожидание и среднеквадратичное отклонение размера шаров зависело от температуры и времени отжига. В рамках разработанной теоретической модели были проведены численные расчёты температурной зависимости диэлектрической проницаемости керамики титаната бария и проведено их сравнение с полученными экспериментальными данными. Зависимость температур Кюри-Вейсса и максимума диэлектрической проницаемости от температуры синтеза имеет нечётко выраженный максимум, который предсказан из теоретических рассуждений и подтвержден экспериментально. Проведённые исследования показали высокую точность приближения экспериментальных кривых теоретическими. Из расчетов следует, что при увеличении температуры синтеза выше 1300°C происходит изменение характера зависимости среднеквадратичного отклонения от температуры синтеза. Аналогичное явление было обнаружено в [4].

Экспериментальные данные настоящей работы ясно показывают наличие сильной зависимости тепловых и электрических свойств сегнетоэлектрической керамики от температуры и времени синтеза. Разработанная теоретическая модель позволяет описывать эти свойства количественно и может быть использована для оптимизации ЭКЭ.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского Научного Фонда (проект № 19-79-10074).

1. A.S. Starkov, I.A. Starkov, A.I. Dedyk, G. Suchanek, G. Gerlach, *Physica Status Solidi (b)* **255**(2), 1700245 (2018).
2. T. Hoshina, S. Wada, Y. Kuroiwa, T. Tsurumi, *Appl. Phys. Lett.* **93**, 192914 (2008).
3. M.V. Zdorovets, A.L. Kozlovskiy, *Vacuum* **168**, 108838 (2019).
4. B. Kim, K.W. Chae, C.I. Cheon, *J. Korean Phys. Soc.* **76**(3), 226 (2020).